

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	変動風力を受ける多質点弾塑性建物を用いた等価線形化手法の提案
Title	
著者(和文)	池上昌志, 吉江慶祐, 佐藤利昭, 佐藤大樹, 北村春幸
Authors	Masashi IKEGAMI, Toshiaki Sato, daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 689-690
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 689-690
発行日 / Pub. date	2014, 9
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110009854591

変動風力を受ける多質点弾塑性建物を用いた等価線形化手法の提案

正会員 ○池上昌志*1 同 吉江慶祐*2 同 佐藤利昭*1
同 佐藤大樹*3 同 北村春幸*1風外力 超高層制振建物 履歴型ダンパー
多質点系 構造減衰 等価線形化

1. はじめに

エネルギーの釣合を利用した弾塑性風応答予測に関して、吉江ら¹⁾は、風応答は1次モードが支配的として、1質点系の風応答予測手法を研究しており、その有効性を示している。さらに平井ら²⁾は、吉江らの手法を多質点系へ拡張するために、多質点系での風外力に対して、損傷に寄与するエネルギー E_D ³⁾を配分する手法を示した。 E_D は入力エネルギーから建物の構造減衰による吸収エネルギー fW_h を除いた値である。風荷重によるダンパーの塑性化の程度は地震荷重のそれと比べて小さいため、構造減衰による吸収エネルギーの評価が重要である。筆者ら⁴⁾は、 i 層における入力エネルギー W に占める fW_h の割合は、風力、ダンパー量、辺長比の違いによらず、ダンパー塑性率により影響を受けることを示している。

そこで本研究では、風外力に対する弾塑性建物の構造減衰による吸収エネルギーを評価するため、1次モードのみ塑性化を考慮することに着目して、等価線形化における時刻歴モーダル解析応答値の有効性を検討し、時刻歴応答解析結果より等価線形化手法の妥当性を評価する。

2. 解析対象モデルと風外力の概要

検討対象建物の諸元と想定立地条件、解析モデルを図1に示す。解析モデルは超高層制振建物を対象とした10質点せん断型モデルとした。フレームは、1次固有周期 $fT_1 = 5.0$ 秒(1次固有振動数 $f_1 = 0.2$ Hz)、総質量は56000 tonとし、質量は高さ方向に様であると想定した。構造減衰は、フレームのみの1次固有周期 fT_1 に対して、減衰定数 $h_1 = 0.02$ の剛性比例型とした。各層のフレーム剛性 $f_k k_i$ は、建物の1次固有モードが直線となるように決定した⁵⁾。本報では履歴型ダンパーを用い、第1層のダンパー降伏せん断力係数 $d\alpha_{y1} = 0.005, 0.01, 0.02$ を解析パラメーターとした。各層のダンパー剛性 $d k_i$ とフレーム剛性 $f k_i$ の比率を、各層一定で、 $d k_i / f k_i = 1.0$ とした。フレームとダンパーを合わせた状態をシステムとすると、システムの固有周期は $sT_1 = 3.58$ 秒(1次固有振動数 $s f_1 = 0.283$ Hz)となる。ダンパーの層せん断力分布は、時刻歴応答解析により算出したダンパー弾性時の最大層間変形 $\delta_{i,max}$ に、システム剛性 $s k_i (= f k_i + d k_i)$ を乗じて算出した最大層せん断力 $s Q_{i,max}$ 分布とする。

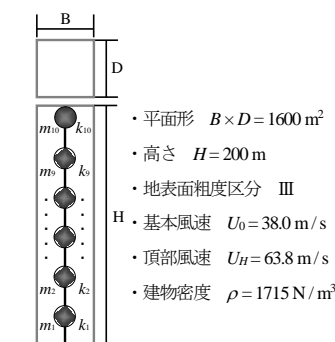


図1 弾塑性解析モデル概要

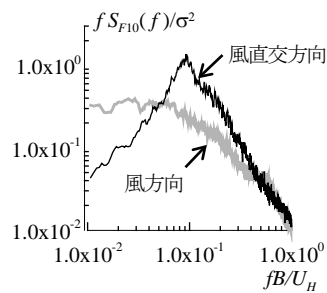


図2 風力パワースペクトル密度

構造物に作用する風外力は風洞実験結果⁶⁾を用いた。本研究では、30組の応答のアンサンブル平均結果により応答を評価した。風洞実験結果から応答の評価時間部分が重ならないように869.2秒×30組を取り出し、解析開始時の過渡応答の影響を避けるため、各風力波形の先頭50秒にエンベロープを設けた後、50～869.25秒の2¹⁴(=16384)data数の間で各応答を評価した。検討用風向は平均成分を含まない変動成分のみの風方向風力、風直交方向風力とし、風方向、風直交方向と表記する。図2に風方向、風直交方向頂部風力 F_{10} のパワースペクトル密度 S_{F10} を示す。図中、 f :振動数、 σ^2 :風力の分散である。

3. 等価線形系の適応

風応答は1次モードが支配的であることに着目し、弾塑性応答に対して、1次モードのみ塑性化を考慮することに着目して、等価1次減衰定数 ${}_1 h_{eq}$ 及び等価1次固有振動数 ${}_1 f_{eq}$ を算出する。この2変数を用いて時刻歴モーダル解析より等価1次モード応答波形を算出し、さらに高次モードはシステム弾性状態での時刻歴モーダル応答波形で近似できるとして応答波形を足し合わせ、10質点時刻歴応答解析結果(以降、10質点解析)と比較し、応答速度及び変位を比較する。文献4)より、構造減衰による吸収エネルギーを評価するには、ダンパー塑性率が重要であるので、表1に各パラメーターにおける10質点解析より求まる第10層ダンパー塑性率 ${}_d \mu$ を示す(式(1))。

$${}_d \mu = \frac{{}_d \delta}{{}_d \delta_y} \quad (1)$$

ここで、 ${}_d \delta$:ダンパー最大変形、 ${}_d \delta_y$:ダンパー降伏変形である。

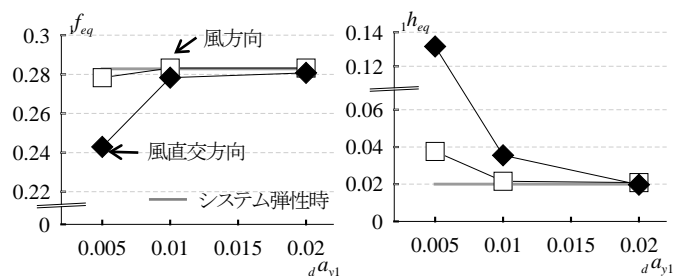
3.1 等価1次減衰定数及び等価1次固有振動数の算出方法

本報では、モーダル風力の作成方法は、式(2)を用いた。

$${}_s F(t) = \sum_{i=1}^{10} {}_s \phi_i \cdot f_i \quad (2)$$

ここで、 ${}_s \phi_i$: i 層 s 次振動モード形、 f_i : i 層風力である。

等価1次減衰定数 ${}_1 h_{eq}$ 及び等価1次固有振動数 ${}_1 f_{eq}$ は、第10層相対変位パワースペクトル密度 S_{F10} を用いたカーブフィッティングにより導出する。以降、断りがない場合、パワースペクトル密度とは第10層相対変位パワースペクトル密度 S_{F10} を表



(a) 等価1次固有振動数

(b) 等価1次減衰定数

図3 等価1次減衰定数及び等価1次固有振動数

Proposal for an Equivalent Linearization Method using Multi-mass Buildings with Hysteretic Damper affected by Fluctuating Wind Force

IKEGAMI Masashi, YOSHIE Keisuke, SATO Toshiaki
SATO Daiki, KITAMURA Haruyuki

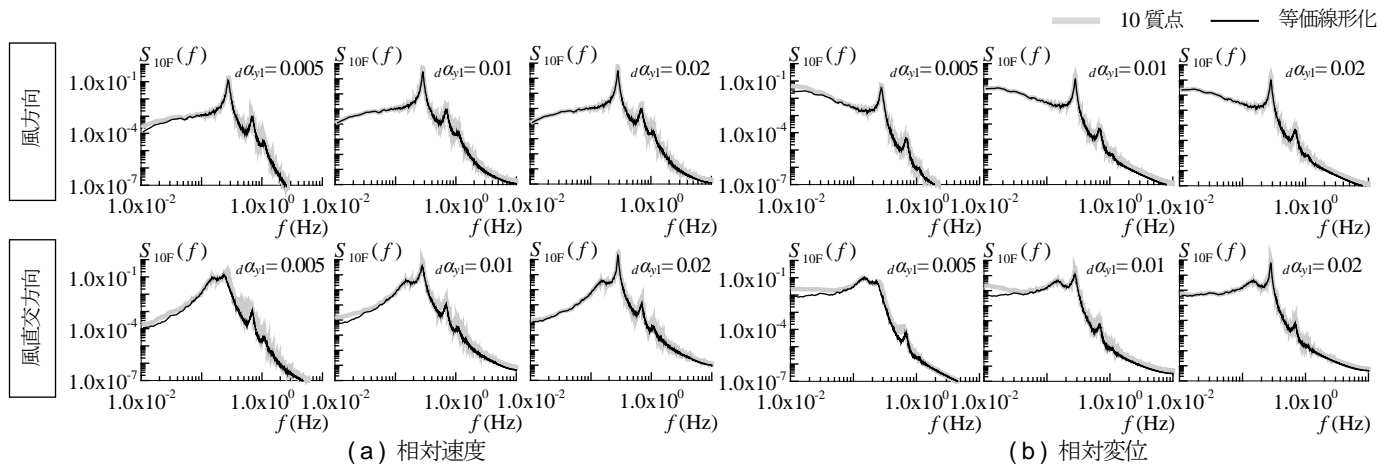


図4 パワースペクトル密度

す。 $1f_{eq}$ は、10質点解析より求まるパワースペクトル密度の1次モード最大値における振動数とする。 $1h_{eq}$ は、スペクトルモーダル解析における初期減衰定数を変更し、10質点解析より求まるパワースペクトル密度の1次応答ピークにフィッティングする値とした。導出された $1f_{eq}$ 及び $1h_{eq}$ を図3に示す。図3(a), $1f_{eq}$ に着目すると、風力入力方向によらず、 $d\alpha_{y1}$ が減少するにつれて低くなっていることがわかる。(b), $1h_{eq}$ に着目すると、風外力入力方向によらず $d\alpha_{y1}$ が減少するにつれて増加していることがわかった。この傾向は、両検討において風直交方向の方が風方向より顕著である。風直交方向の方が風方向より、応答が大きく、ダンパー塑性率が大きいからである(表1参照)。

3.2 等価線形化による応答評価

等価1次モード応答波形及びシステム弾性時での高次モード応答波形をそれぞれ時刻歴モーダル解析より算出し、波形の足し合わせ(以降、等価応答波形)を行い、パワースペクトル密度を求め、10質点解析のそれとともに図4に示す。図5に10質点、等価1次モード、システム弾性時高次モード及び等価応答波形をそれぞれ示す。図6に、等価1次モード応答、等価応答各応答の最大値及び標準偏差(以降、 max 及び rms)を10質点応答結果との比($=1\alpha_{10}, \alpha_{10}$)としてそれぞれ示す。なお、破線左は風方向結果、右は風直交方向結果とする。図4より、

等価応答のパワースペクトル密度は10質点応答とよく一致しており、高次モードはシステム弾性状態で近似できることがわかった。図4, 5より、相対速度の方が相対変位より高次モードの影響が大きかったことがわかった。図6より、相対変位(印○, ●)に着目すると、 max では風力入力方向によらず、 $d\alpha_{y1}$ が増加するにつれて精度が向上していることがわかった。 rms でも同様の傾向が確認できた。相対速度(印△, ▲)に着目すると、 max , rms , 風力入力方向及び $d\alpha_{y1}$ による傾向は見られなかった。 rms の方が max よりばらつきは小さいことがわかった。

4. まとめ

風外力に対する弾塑性建物の構造減衰による吸収エネルギーを評価するため、風応答は1次モードが支配的であること、ダンパー塑性率が重要であることから、1次モードのみ塑性化を考慮することに着目して、検討を行った。時刻歴モーダル解析を用いて等価1次モード波形、システム弾性状態における高次モード波形を算出し、波形足し合わせにより各応答を算出した。1次モードのみ塑性化を考慮し、高次モードはシステム弾性状態とすることで、10質点時刻歴応答解析に近似できることがわかった。本報における等価線形化手法では、最大値応答を誤差30%以内、標準偏差応答を誤差20%以内で評価できた。

謝辞

本研究は、神奈川大学大熊武司教授、(株)泉創建エンジニアリング、(株)日建設計、東京理科大学北村研究室による新耐風設計法研究会の成果の一部です。特に、本研究を進めるにあたり、大熊武司教授、(株)泉創建エンジニアリングの丸川比佐夫博士、片桐淳治博士、鶴見俊雄氏からご指導を賜りました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉江慶祐, 北村春幸, 大熊武司, 和田章: エネルギーの釣合に基づく平均成分を有する広帯域性変動風力を受ける弾塑性構造物の応答予測手法, 日本建築学会構造系論文集, pp.21-28, 2006. 10
- 2) 平井宏幸, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 北村春幸: エネルギーの釣合に基づく変動風力を受ける超高層制振建物の損傷分配評価, 日本建築学会関東支部研究報告集(CD-ROM), 2011, 2012, 3,
- 3) 秋山宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版, 1997
- 4) 池上昌志, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 小川諒, 北村春幸: 変動風力を受ける多質点弾塑性建物のエネルギー吸収分担の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.201-202, 2013.8
- 5) 佐藤大樹, 笠井和彦, 田村哲朗: 粘弾性ダンパーの振動数依存性が風応答に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, pp.75-82, 2009.1
- 6) 片桐純治, 大熊武司, 鶴見俊雄: 高層免震建築物の一般化風力特性, 日本建築学会学術講演梗概, pp.139-140, 2010.9

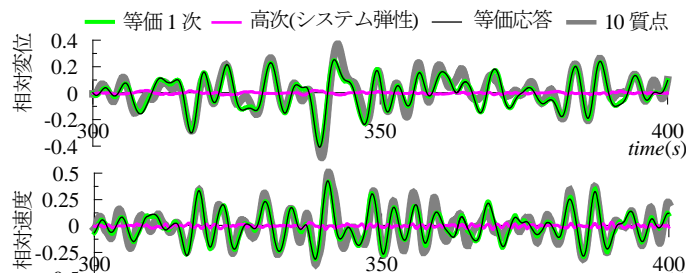


図5 応答波形比較(風直交方向, $d\alpha_{y1} = 0.005$)

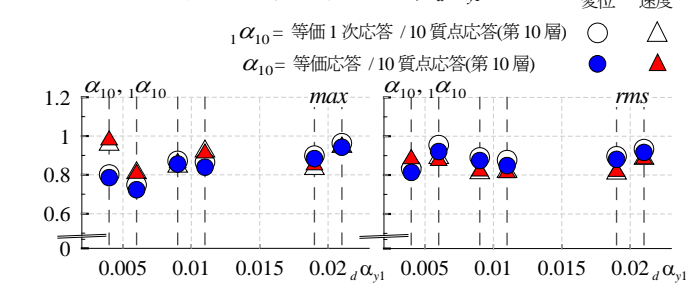


図6 等価線形化評価

*1 東京理科大学
*2 株式会社 日建設計
*3 東京工業大学

*1 Tokyo University of Science.
*2 Nikken Sekkei Ltd.
*3 Tokyo Institute of Technology